

Une perspective fonctionnelle pour la formation professionnelle technique assistée par ordinateur

Richard Gagnon

Volume 25, numéro 2, 1999

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/031999ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/031999ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Revue des sciences de l'éducation

ISSN

0318-479X (imprimé)

1705-0065 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Gagnon, R. (1999). Une perspective fonctionnelle pour la formation professionnelle technique assistée par ordinateur. *Revue des sciences de l'éducation*, 25(2), 211–242. <https://doi.org/10.7202/031999ar>

Résumé de l'article

Dans cet article, les environnements de formation assistés par ordinateur sont considérés comme une réponse partielle à la problématique contemporaine de la formation professionnelle technique. Dans cette perspective, le développement par l'élève technicien d'une connaissance fonctionnelle y est préconisé et sa signification définie. La nature de l'expertise y est étudiée en distinguant le sujet sur lequel elle porte, ses degrés de formalisation et de généralité, de même que ses origines diversifiées. Pour former les élèves, on y propose une organisation des connaissances du domaine en réseaux conceptuels technoscientifiques. On y justifie la nécessité d'incorporer à l'environnement de formation des stratégies de « gestion de l'ignorance » en raison d'une connaissance fragmentaire des savoirs véritables des élèves. À cette fin, on examine le contrôle des connaissances mobilisées dans l'acte d'apprendre et le contrôle des processus d'apprentissage.

Une perspective fonctionnelle pour la formation professionnelle technique assistée par ordinateur

Richard Gagnon
Professeur

Université Laval

Résumé – Dans cet article, les environnements de formation assistés par ordinateur sont considérés comme une réponse partielle à la problématique contemporaine de la formation professionnelle technique. Dans cette perspective, le développement par l'élève technicien d'une connaissance fonctionnelle y est préconisé et sa signification définie. La nature de l'expertise y est étudiée en distinguant le sujet sur lequel elle porte, ses degrés de formalisation et de généralité, de même que ses origines diversifiées. Pour former les élèves, on y propose une organisation des connaissances du domaine en réseaux conceptuels technoscientifiques. On y justifie la nécessité d'incorporer à l'environnement de formation des stratégies de «gestion de l'ignorance» en raison d'une connaissance fragmentaire des savoirs véritables des élèves. À cette fin, on examine le contrôle des connaissances mobilisées dans l'acte d'apprendre et le contrôle des processus d'apprentissage.

Introduction

Les techniques récentes de l'intelligence artificielle, qui ont permis la mise au point de nombreux systèmes experts dans des domaines variés, rendent plausible, à long terme, la généralisation d'environnements d'apprentissage informatisés intelligents, sophistiqués et performants. Véritables stations de formation multimédia distribuées, ces environnements prendraient en considération le style de l'apprenant, son profil cognitif, son niveau de développement, ses connaissances et leurs multiples conceptions, et même ses capacités cognitives et métacognitives; fortement adaptables en fonction de l'apprenant, du contenu d'apprentissage, des objectifs poursuivis, du contexte de formation, ils incorporeraient divers styles d'enseignement et de nombreux modèles pédagogiques; hautement

interactifs, ils feraient appel, selon les besoins, à des modes appropriés de communication et de représentation des connaissances: langue naturelle, sons ou images synthétisés ou enregistrés à partir de situations réelles et pédagogiquement exploitables d'innombrables façons. Ils seraient enfin, pour ainsi dire, tous le même et partout à la fois, par leur branchement réseau aux millions d'autres ordinateurs du monde entier; ils conviendraient pour la formation individualisée, en collaboration et à distance.

De tels environnements demeurent bien sûr hors d'atteinte – peut-être relèvent-ils largement de l'utopie; pour des raisons techniques, certes, mais également parce que leur rôle reste à préciser (Chan, 1996) – et les efforts actuels portent sur la conception de systèmes plus modestes¹. Trop de problèmes subsistent encore, liés à l'informatique et à l'intelligence artificielle pour une bonne part, mais aussi, et davantage peut-être, liés aux expertises nécessaires à la construction de tout environnement d'apprentissage intelligent: expertise pédagogique et expertise du domaine d'enseignement qui, pour compliquer les choses, se révèlent à l'analyse mutuellement dépendantes².

En particulier, la sélection et l'organisation des contenus des bases de connaissances associées à ces expertises sont des plus difficiles, car elles font éventuellement intervenir de nombreuses spécialités, toutes reliées de près ou de loin à la formation, mais recouvrant chacune leur propre problématique: les sociologies de l'éducation et du travail, la psychologie, la psychopédagogie, la didactique, l'informatique, l'intelligence artificielle et les sciences cognitives, la mesure et l'évaluation des apprentissages, les disciplines ou matières de formation proprement dites et, le cas échéant mais quasi généralement en formation professionnelle, la pratique du travail. Bien sûr, le degré de difficulté qui résulte de cette complexité dépend étroitement des objectifs de formation qu'on cherche à atteindre par la voie de l'environnement. À ce jour, on le conçoit, ces objectifs demeurent, par la force des choses, relativement limités.

Considérons maintenant le cas particulier de la formation professionnelle technique sur lequel nous centrons notre attention dans la suite de cet article. Nous entendons par là la formation à des métiers ou professions de nature technique, plutôt qu'artistique, et qui ne peuvent que difficilement s'acquérir par apprentissage³ ou pratique supervisée en milieu de travail, quelle que soit sa durée. C'est le cas, par exemple, de la plupart des métiers liés à l'électronique, à la mécanique ou aux soins de la santé, qui privilégient pour les individus concernés une formation initiale en milieu scolaire. Pour ces derniers métiers cependant, nous voudrions limiter la portée de notre analyse, car la dimension humaniste intrinsèque à la plupart d'entre eux s'accorde mal avec la perspective fonctionnelle développée ci-après. Le lecteur pourra à l'occasion s'en rendre compte. Nous excluons

aussi de notre discussion les métiers traditionnellement appris en milieu de travail par voie de compagnonnage, comme la maçonnerie, la boucherie ou la menuiserie, même si ceux-ci font de plus en plus généralement l'objet d'une formation scolaire. Pour cette catégorie de métiers serait nécessaire une autre analyse que celle qui est présentée ici.

En raison de la rapidité des changements technologiques, de la mouvance des emplois et des postes de travail, de l'augmentation de la concurrence, l'employeur comme la société exigent de plus en plus une main-d'œuvre polyvalente et adaptable (Busby et Graham, 1994; Tremblay, 1993; Wood, 1989). Celle-ci sera donc nécessairement plus autonome, davantage capable d'autoformation et, nous en formulons l'hypothèse, possédera des tâches professionnelles et des systèmes techniques une compréhension plus globale, plus fonctionnelle, c'est-à-dire mieux reliée aux fonctions des tâches et des systèmes; par conséquent, elle sera plus stable face aux changements.

Ainsi, la pratique professionnelle du technicien moderne se fera moins algorithmique que par le passé. Il lui sera de plus en plus difficile d'accomplir adéquatement son travail avec pour l'essentiel un répertoire, même bien étoffé, de procédures. Pourtant, et paradoxalement, la plupart des formations professionnelles techniques et la plupart des logiciens consacrés à ce type de formation portent encore largement sur des procédures⁴. Il faudra, à court et à moyen termes, remédier à la situation, car ces dernières ont en général un registre d'application limité à la fois par le contexte de leur utilisation et par l'environnement technologique particulier auxquelles elles sont adaptées; elles résistent mal à l'évolution rapide des systèmes technologiques et s'avèrent impropres comme fondement d'une formation réellement polyvalente et durablement utile.

Par exemple, en passant des carburateurs mécaniques aux carburateurs électroniques ou des freins assistés électromécaniquement aux freins de type «ABS», l'industrie de l'automobile a rendu caduques nombre des procédures de travail habituelles des mécaniciens d'automobile et modifié substantiellement les contextes de mise en œuvre de plusieurs autres, tels les calendriers d'entretien et les fréquences de pannes. Mais elle n'a pas, ce faisant, modifié le processus même de la carburation qui relève de la chimie appliquée, pas plus qu'elle n'a remplacé le principe physique utilisé pour freiner les voitures. Dans les deux cas, elle a changé les systèmes, mais sans changer ni les principes ni les fonctions de ces systèmes. C'est sur ces connaissances plus stables qu'il faut miser pour fonder la formation de techniciens adaptés à leur époque. Ils sauront ainsi plus facilement garder à jour et développer leur compétence et leur expertise.

Bien sûr, on ne peut imaginer que très partiellement et très approximativement quelles seront les tâches quotidiennes du mécanicien d'automobile «stan-

dard» de demain, lorsque par exemple toutes les voitures (et plus seulement, comme c'est le cas aujourd'hui, quelques véhicules expérimentaux, spécialisés ou hauts de gamme) seront équipées de systèmes sophistiqués de repérage automatique de position par satellite et de conduite intelligemment assistée par ordinateur, mais on peut admettre que pour être efficace, utile et durable, la formation du mécanicien de demain – et plus généralement celle du technicien de demain – reposera davantage sur des concepts et des principes généraux que sur des savoirs strictement procéduraux. Dès lors, il s'agira pour lui de mobiliser des connaissances essentiellement abstraites mais puissantes, qui définissent pour l'essentiel les fondements théoriques de sa propre discipline et les règles d'interprétation de données empiriques du domaine, dans des situations de travail concrètes, complexes et changeantes, mais de façon appropriée aux besoins du moment; le caractère fonctionnel des connaissances du technicien se manifesterait alors clairement. Assurément, cela est plus difficile à réaliser que d'appliquer systématiquement des règles bien identifiées et, à toutes fins utiles, apprises par cœur – justifiables théoriquement ou empiriquement mais sans qu'il soit requis du technicien de le faire – à des situations toutes similaires. Pour le «technicien fonctionnel», le poids relatif de ses connaissances déclaratives ou savoirs, de haut niveau mais pas immédiatement opérationnels, s'accroîtra donc au détriment de ses connaissances strictement procédurales ou savoir-faire, immédiatement opérationnels mais plus rigides. Pour faciliter la tâche à ces futurs techniciens, il importerait que leur formation professionnelle aille déjà dans ce sens. Des recherches ont en effet montré qu'avec l'accroissement de la complexité des tâches diminue l'efficacité d'une formation procédurale, toutefois supérieure pour ce qui est des tâches simples, mais qu'à l'inverse, une formation à caractère conceptuel, et partant fonctionnelle au sens défini ci-dessus, croît en pertinence et en efficacité (Luc, 1994). Il faudrait que d'autres recherches viennent appuyer les premières pour approfondir les modalités d'une telle formation fonctionnelle et, en particulier, sur la contribution que peut y apporter l'ordinateur.

Voilà bien en effet l'essence même d'une formation fonctionnelle telle que nous l'entendons : faire en sorte que les connaissances par ailleurs imposées au futur technicien en cours de formation le soient en tenant compte de ses besoins propres mais également en prenant en considération l'utilité de ces mêmes connaissances dans l'activité technique proprement dite. Cela ne saurait qu'en augmenter la pertinence. Comme le dit Claparède (1950), ardent défenseur de semblable approche en éducation et pour qui «le point de vue fonctionnel: c'est celui du rôle joué par tel ou tel processus...» (p. 36):

La perspective fonctionnelle est comme un cadre qui limite les investigations relatives à la technique et à la structure, en les centrant sur les points pratiquement importants (p. 38).

Dans ce passage, Claparède rejoint non seulement Aristote qui a indirectement considéré la question⁵, mais il rejoint aussi Rousseau, Alain, Dewey et tous ceux pour qui la connaissance n'est pas une fin en soi, mais un moyen. Or, comme la formation technique est par elle-même une réponse à des besoins individuels et sociaux, il est évident que les savoirs du technicien seront spécifiquement orientés de façon à satisfaire ces besoins; ils constituent en effet des moyens d'adaptation au monde des humains, d'où leur caractère éminemment fonctionnel.

La perspective fonctionnelle, on le conçoit donc, s'éloigne d'une vision procédurale de la formation pour adopter un point de vue conceptuel qui met en jeu les concepts et les principes sous-jacents aux situations et aux gestes techniques concrets. Elle s'attardera, par exemple, à prédire les effets d'actions particulières sur des systèmes techniques, telles les conséquences sur un système de production donné de l'augmentation de la cadence ou du remplacement d'une pièce d'origine par une autre de marque différente, sur les causes véritables de dysfonctionnements (récurrents, particulièrement coûteux ou difficiles à réparer) ou, encore, sur l'identification de solutions techniques de rechange à des problèmes donnés. En mettant l'accent sur la compréhension et sur les aspects dynamiques et prédictifs de la connaissance plutôt que sur la description, essentiellement statique, des composantes et des opérations des systèmes techniques, elle complète la conception procédurale de la formation. Elle devrait toutefois prédominer sur cette dernière lorsqu'augmente le niveau d'expertise requis du technicien ou lorsque le justifie la complexité de la situation, état de plus en plus courant dans le monde moderne.

En contrepartie cependant, réaliser une formation fonctionnelle ne va pas sans heurt, car elle est plus difficile à circonscrire et plus difficile à mettre en œuvre qu'une formation procédurale. Elle exige aussi davantage des élèves et des formateurs puisqu'elle est par nécessité multidisciplinaire. C'est ainsi, par exemple, qu'outre sa connaissance des systèmes techniques proprement dits, l'électronicien compétent maîtrise plusieurs concepts et principes de physique et de mathématiques; que l'inhalothérapeute fiable possède, au-delà de ses savoirs techniques, une connaissance approfondie de la physiologie respiratoire et une base solide en chimie; que le mécanicien moderne, nous l'avons vu, a besoin de physique, de chimie et même d'éléments d'électronique et d'informatique. De fait, une compréhension fonctionnelle des méthodes et des systèmes techniques requiert la maîtrise de savoirs issus de disciplines variées. Il convient d'identifier ces savoirs et de les relier pour établir les bases de connaissances propres des domaines considérés et constituer ce que nous appellerons des «structures conceptuelles technoscientifiques» composées, d'une part, de véritables savoirs techniques, définis comme les procédés et méthodes d'un domaine professionnel technique ainsi que des concepts, principes et faits associés à ce champ de savoir, et, d'autre part, de savoirs provenant d'une ou de plusieurs autres disciplines scientifiques connexes,

nécessaires à une compréhension et à une utilisation fonctionnelles des systèmes techniques. Alors seulement pourrions-nous envisager, de façon systématique, une formation professionnelle technique fonctionnelle cohérente et intégrée dont la pertinence pour le technicien sera aussi durable que possible dans les limites du savoir et de la dynamique socioéconomique actuels.

Dans un tel contexte de complexité et de multidisciplinarité, on comprend facilement l'attrait qu'exercent la micro-informatique et les techniques de l'intelligence artificielle sur les milieux de la formation professionnelle et les efforts considérables consacrés à la réalisation de tuteurs intelligents (ACCT, 1990), de systèmes tutoriels intelligents (Frasson, Gauthier et Lesgold, 1996), de micromondes (Bruillard, 1997) ou d'environnements interactifs d'apprentissage avec ordinateur (Baron, Mendelsohn et Nicaud, 1997); on y voit en effet un moyen privilégié de formation. Mais on comprend aussi la difficulté de l'entreprise. Car comment concilier des systèmes de pensée disparates, les amener à interagir efficacement autour d'un projet unique et permettre simultanément à chacun d'eux de conserver son intégrité et sa cohérence interne, d'atteindre ses propres objectifs? Comment informatique, pédagogie et disciplines d'enseignement peuvent-elles être harmonisées? Nous avons en cela la problématique et les critères de succès d'un travail en équipe véritablement interdisciplinaire, source de divergences et de profondes incompréhensions. C'est pourquoi, afin d'assurer la pertinence d'un quelconque dispositif de formation professionnelle technique faisant usage de l'ordinateur et en rendre acceptable le degré d'efficacité, on ne peut éviter une réflexion toute spéciale sur l'expertise technique, car elle est à la fois source privilégiée de la connaissance à développer chez l'élève et, pour lui, but ultime à atteindre. Cela est nécessaire pour orienter les choix d'objectifs de formation, de contenus d'apprentissage et même d'approches pédagogiques qui devront être faits. Qui le dispositif doit-il contribuer à former? Quelles connaissances doivent y être incorporées? De quels niveaux seront ces connaissances? Quel agencement sera le leur? Mais, aussi, que fera l'élève de ce savoir nouveau, à court et puis à long termes? En quoi son expertise ressemblera-t-elle à celle des formateurs, des programmes de formation, des vétérans du domaine? En quoi s'en distinguera-t-elle?

Voilà à quel type de réflexion convie cet article. Dans la prochaine section, nous analysons la connaissance d'un technicien expert d'un domaine, en relation avec l'élaboration d'un tel dispositif que nous nommons spécifiquement «Environnement de formation professionnelle technique assistée par ordinateur». Nous préférons cette expression très générale aux autres plus répandues, telles que celles qui ont été utilisées ci-dessus, pour ne pas contraindre indûment la forme qu'il pourrait prendre, ni présumer du rôle et des fonctionnalités spécialement impartis à l'ordinateur dans l'environnement. Pour le désigner, nous utilisons désormais

«environnement de formation» ou simplement «environnement» là où le contexte le permet. Nous examinons aussi une question encore très peu traitée en éducation et dans les applications pédagogiques de l'ordinateur, la «gestion de l'ignorance». Nous concluons par une synthèse du texte qui fournira, au passage, quelques pistes d'implantation. Le point de vue privilégié est tout au long de notre étude celui de la didactique des disciplines techniques, mais nous tentons d'établir des ponts avec l'analyse informatique préoccupée par la modélisation de systèmes experts, de tuteurs intelligents, de micromondes ou d'environnements d'apprentissage.

La nature de l'expertise professionnelle technique

Que sait un expert d'un domaine, c'est-à-dire que sait un individu formé et expérimenté dans ce domaine, reconnu par ses pairs, par la société et à ses propres yeux comme compétent et fiable?

Considérons la totalité de sa connaissance, à l'apogée ou presque de sa carrière. Celle-ci constitue, de fait, un réseau enchevêtré et indémaillable de connaissances de plusieurs types mais catégorisables de plusieurs façons. Pour notre part et pour les besoins de notre analyse, nous en retiendrons quatre.

D'abord, en raison du point de vue didactique que nous privilégions et qui fait du domaine à l'étude une question incontournable, mais aussi parce que l'objectif visé est la réalisation d'environnements de formation, une première catégorie de connaissances expertes s'impose d'elle-même: la catégorie du *sujet*, c'est-à-dire ce sur quoi portent les connaissances de l'expert. En effet, non seulement le sujet à l'étude est-il la raison première du questionnement didactique mais, par ailleurs, il définit à lui seul l'une des bases principales des connaissances formalisées ou non d'un environnement de formation, la base de connaissances du domaine⁶.

Deuxièmement, comme nous recherchons la formation de techniciens fonctionnels et que ce type de formation, nous l'avons vu, repose largement sur l'analyse et l'établissement de liens logiques et empiriques – plutôt que séquentiels, matériels ou physiques comme dans le cas d'une formation procédurale – entre divers systèmes techniques ou de connaissances, une catégorie appelée *forme* se révélera particulièrement utile. Il s'agit par cela de caractériser le niveau formel ou le degré de formalisation des connaissances de l'expert; cette catégorie devrait influencer d'importante façon les modes de représentation des connaissances dans l'environnement.

Troisièmement, comme chaque fois qu'il est question de sélectionner des contenus de formation, et l'élaboration d'environnements ne fait pas exception à cette obligation, il faut s'interroger sur la généralité des choix effectués; d'une part,

pour éviter de former un individu dont les compétences seraient par trop « spécialisées » ou, plus précisément, trop contextualisées; d'autre part, pour s'assurer que les connaissances choisies soient interprétables par toute la clientèle visée. Ce questionnement conduit à une troisième catégorie de connaissances d'expert, celle de la *généralité*.

Enfin, nous retenons une quatrième et dernière catégorie de connaissances d'expert que nous appelons *origine*. Elle a trait à l'histoire des connaissances de l'expert, c'est-à-dire où, quand, par quels moyens et dans quelles conditions a-t-il acquis ses connaissances. Elle se distingue toutefois de l'épistémologie de celles-ci dont l'importance pour la formation n'est plus à démontrer, mais il nous apparaît que le terme épistémologie a une connotation plus logique, plus psychologique et plus philosophique que ce nous voulons envisager ici. Notre intention est plutôt de situer et de contextualiser le cheminement professionnel de l'expert et d'incorporer à l'analyse de sa connaissance, au-delà d'éléments relatifs à la formation initiale ou première, des réflexions sur l'expérience et sur la formation continue. Pour ces raisons, le terme origine nous semble plus approprié. Considérons maintenant tour à tour chacune de ces catégories de connaissances d'un expert.

Le sujet

Sur le plan formel, catégoriser par sujet les connaissances d'un expert est relativement simple. En effet, certaines d'entre elles se rapportent au domaine d'expertise; d'autres touchent tous les autres domaines auxquels a été confronté l'expert, en tant que tel ou comme individu – ces connaissances sont plus ou moins étendues et les domaines plus ou moins différenciés suivant l'intérêt qu'y a porté l'expert. D'autres sont relatives à ses capacités d'apprendre de nouvelles choses, à ses habiletés cognitives et métacognitives. Parmi celles-ci, d'aucunes sont spécifiques au domaine d'expertise alors que d'autres, beaucoup plus générales, peuvent s'acquérir par de nombreuses disciplines et être réutilisées ailleurs.

Sur le plan formel, qui voudrait modéliser la connaissance experte serait donc en présence de trois catégories générales de connaissances et d'un nombre de sous-catégories en fonction de ses intentions. Ces catégories ne sont pas encore, cependant, dépendantes à proprement parler du domaine comme tel. Cette dépendance n'apparaît qu'au niveau suivant, quand il s'agit d'instancier la base de connaissances formalisées du domaine selon le sujet alors que des choix difficiles s'imposent, notamment concernant les connaissances à privilégier. Toutefois, le cadre fonctionnel adopté ici limite quelque peu le champ d'investigation.

Premièrement, pour des raisons évidentes de pertinence et parce qu'elles ne sont pas communes à la plupart des techniciens d'un même domaine mais au contraire éminemment variables de l'un à l'autre, aucune connaissance relative

aux domaines autres que celui qui est considéré ne devrait faire partie de la base de connaissances formalisées du domaine – sauf bien sûr celles des disciplines connexes, dont nous avons parlé dans la section précédente et qui soutiennent le point de vue fonctionnel – car, alors, l’environnement résulterait de sa généralité⁷. Mais cette omission ne va pas sans conséquences sur les moyens de formation et affecte la base de connaissances pédagogiques et le modèle de l’élève s’il y en a un. En effet, pour réaliser une tâche, tout expert humain recourt régulièrement, par analogie ou autrement, à toute espèce de connaissances qu’il possède, même si elles ne font pas partie de son domaine d’expertise propre, pourvu qu’elles soient à ses yeux pertinentes. Or, et ici se situe le cœur du problème, ces relations ne valent que pour un ou, à la rigueur, quelques individus bien particuliers qui partagent une même culture. Il serait impropre de modéliser ces relations dans une base de connaissances destinée à former un grand nombre de techniciens. À cet égard, les enseignants qui, de bonne foi, estiment rendre service aux élèves en leur « passant certains trucs » bien personnels de leur pratique du métier, de ces trucs dont l’origine se trouve à l’extérieur du métier (des analogies, des métaphores, des associations)⁸, se voient d’ailleurs régulièrement mis en doute par les élèves eux-mêmes pour cette seule raison. En effet, les liens établis par l’enseignant et qui donnent sens à ses yeux aux trucs en question ne peuvent être établis par l’élève. Il s’ensuit donc chez ce dernier une incapacité d’accepter comme valides, ou du moins comme fiables, les trucs proposés par l’enseignant et ils rejettent ceux-ci. Un problème pédagogique se pose alors à l’enseignant désireux d’habilitier l’élève à intégrer ses propres connaissances hors domaine au cadre de son futur champ d’expertise pour qu’il profite également de ses autres savoirs. Cela est compliqué à réaliser et influence à coup sûr le choix des activités d’apprentissage. Un problème similaire se pose aussi au concepteur d’environnements de formation, question difficile sur laquelle nous reviendrons dans la section suivante.

Deuxièmement, puisque certaines stratégies cognitives recourent de nombreux domaines professionnels, il serait évidemment utile de les identifier clairement et de les modéliser avec soin, mais alors d’importantes difficultés émergeraient. S’il est vrai, effectivement, qu’un certain nombre de stratégies cognitives reviennent sous une forme ou sous une autre, explicitement ou non, dans de nombreux programmes de formation professionnelle technique, par exemple et tout particulièrement des stratégies de diagnostic ou de dépannage qui sont, pour l’essentiel, des méthodes de résolution de problèmes, des méthodes de prise de mesures et de codification d’états de lieux, très fréquemment requises quand il s’agit d’installer un appareil ou un système et qu’on peut assimiler à des stratégies de cueillette de données, ou encore des procédures de test pour vérifier la qualité d’une installation, qui nous ramènent aux stratégies de diagnostic, il est aussi vrai, en revanche, qu’aucune méthode générale n’a jamais été universellement

admise pour réaliser l'une ou l'autre de ces activités. Au contraire, plusieurs méthodes coexistent sans que les critères des choix particuliers faits par les techniciens eux-mêmes soient seulement nécessairement objectifs⁹. Cela pourrait expliquer en partie le succès très limité des résolveurs généraux de problèmes (Delgrande et Mylopoulos, 1986; Simon, 1996; Bruillard, 1997) et, sans doute aussi, être interprété à la lumière des recherches sur la cognition située (Lave et Wenger, 1993).

Pour notre part, nous estimons que des stratégies adéquatement définies pourraient malgré tout être incorporées avec profit dans la base de connaissances formalisées du domaine d'un environnement de formation et être enseignées aux élèves, pourvu que le choix de ces stratégies soit étroitement conditionné par le cadre paradigmatique dans lequel se situe l'environnement. À titre d'illustration, dans un cadre fonctionnel, la qualité d'une réparation d'un système technique ne devrait pas s'évaluer par le fait que toutes les étapes d'une procédure admise auraient été minutieusement suivies (concluant de cela que le système doit, sauf erreur, fonctionner normalement), comme il serait naturel de procéder dans un cadre pragmatique où la procédure normalisée fait loi. Il s'agirait plutôt d'évaluer la qualité de cette réparation à partir d'une comparaison de l'état final du système réparé avec une référence normative préétablie¹⁰; c'est le fonctionnement normalisé qui fait loi dans ce cadre et il est présumé qu'en conséquence, une procédure adéquate a été utilisée pour la réparation. Les deux stratégies sont certes utiles au technicien compétent, qui en fait d'ailleurs un usage sélectif suivant les circonstances mais, pour ce qui nous concerne, seule la seconde, qui est compatible avec la perspective fonctionnelle adoptée pour la formation, devrait être privilégiée dans l'environnement pour en préserver l'unité et la cohérence, et favoriser ainsi le développement d'un technicien réellement fonctionnel.

Une remarque s'impose toutefois avant de laisser cette question des stratégies cognitives communes à divers domaines professionnels techniques, une mise en garde en fait concernant la généralité ou la « transférabilité » de telles stratégies. Souvent, en effet, deux stratégies issues de domaines différents présentent des analogies de surface tellement frappantes qu'on croirait qu'il s'agit de la même stratégie. Pour le concepteur d'environnements, la tentation devient alors grande de les confondre et de proposer aux élèves des deux domaines une seule et unique version de celle-ci; cela est économique et, de toute façon, le mythe de la panacée n'est jamais loin. Pourtant, une analyse plus approfondie de l'application des stratégies dans la pratique aurait révélé des différences significatives entre elles. Des conséquences néfastes aux élèves et à leur future « clientèle » pourraient alors s'ensuivre.

Il n'y a qu'à comparer les domaines de la santé et de l'électronique pour s'en convaincre. Ces deux domaines requièrent en effet des techniciens qui y œuvrent

de recueillir des données (se rapportant par exemple aux signes vitaux d'une personne pour l'un, ou aux tensions d'entrée et de sortie d'un appareil pour l'autre) et de poser des diagnostics (infirmiers souvent dans un cas, quand il s'agit d'évaluer le bien-être d'un malade par exemple, ou strictement fonctionnels dans l'autre, quand il s'agit plutôt de déterminer les causes d'une panne). Néanmoins, malgré des similitudes incontestables, chaque tâche est bien distincte d'un domaine à l'autre, surtout à cause de la dimension psychologique et affective sollicitée fortement dans le domaine de la santé mais très peu ou pas du tout dans celui de l'électronique¹¹. Pour cette raison, ces stratégies devraient être considérées comme spécifiques à leur domaine respectif et, le cas échéant, modélisées comme telles.

Dans ce genre de situation, une attitude de prudence est préférable à toute approche pragmatique qui consisterait à modéliser une stratégie, même approximative ou incomplète, comme contenu de formation dans l'une ou l'autre des composantes de l'environnement, arguant qu'on a besoin d'une base pour que l'élève apprenne. Si cela est vrai de façon générale, il faut se rappeler que la connaissance experte n'est jamais entièrement modélisable et qu'il vaut mieux, en pareils cas, compter sur les intervenants humains de la formation et sur les situations véritables de mise en œuvre des stratégies pour apporter la connaissance juste et nécessaire à l'élève. Cela se conforme d'ailleurs au courant de pensée contemporain sur les applications pédagogiques de l'ordinateur, suivant lequel l'ordinateur est une composante majeure d'environnements de formation mais sans en être le maître d'œuvre (Lacerda, 1995; Bruillard, 1997; Gagnon et Lacerda, 1998)¹². Autrement dit, ce que ne peut pas faire très bien l'ordinateur doit être fait par d'autres participants à l'environnement, humains ou matériels, qui eux le peuvent. C'est dans la complémentarité des forces respectives des composantes de l'environnement de formation que celui-ci trouvera son efficacité. Le domaine de la formation professionnelle technique est immense et extrêmement varié, il ne saurait être simplifié outre mesure.

Troisièmement, la perspective fonctionnelle balise également les choix à privilégier parmi les savoirs et les stratégies cognitives propres au domaine professionnel technique dont dispose l'expert. Revoyons ces connaissances et analysons leur pertinence d'un point de vue fonctionnel¹³. Il y a d'abord quantité de faits particuliers qui composent le vocabulaire du domaine: le nom des appareils, des outils, des systèmes, la clientèle et ses caractéristiques, bref, tout ce qu'il est nécessaire de savoir par cœur pour exercer son métier et que la plupart des techniciens de quelque expérience ont appris parfois à leur insu. Bien qu'elles soient essentielles pour pratiquer le métier, ces connaissances ne sont pas intéressantes d'un point de vue fonctionnel, car elles renvoient à la description plutôt qu'au fonctionnement du domaine. Elles sont par ailleurs facilement codifiables et se trouvent aussi facilement, en particulier dans les manuels ou les notes de cours

mis à la disposition des élèves, dans des didacticiels consacrés au domaine ou encore, et de plus en plus, sur l'autoroute électronique. Cette partie des connaissances expertes n'est pas problématique pour la formation professionnelle technique qui s'acquitte plutôt bien de les transmettre. Dans un environnement de formation, nous pourrions donc considérer que le besoin de connaissances factuelles est adéquatement comblé.

Il y a aussi, parmi les connaissances de l'expert, un nombre imposant de procédures de toutes sortes destinées soit à opérer les appareils ou les systèmes techniques, soit à les installer ou à les réparer, soit encore, selon les métiers, à intervenir auprès d'individus ou de groupes d'individus. D'un point de vue fonctionnel, les procédures sont intéressantes dans la mesure où on les traite comme telles, c'est-à-dire en insistant expressément sur leur raison d'être dans le processus technique, sur le rôle et la justification des étapes qui les constituent, sur les concepts et les principes qu'elles mettent en jeu; et pas seulement, comme cela est généralement le cas en formation professionnelle, sur les actions posées pour accomplir les procédures et sur leur séquence. En effet, la plupart du temps, les procédures sont enseignées, pour ainsi dire, pour elles-mêmes, en quelque sorte par cœur, à la manière des faits particuliers dont il vient d'être question, à partir de démonstrations commentées suivies de pratique par les élèves; l'important devient alors pour eux de mettre en œuvre les procédures enseignées suivant des critères d'évaluation préétablis, admettant implicitement que c'est comme cela qu'il faut faire, sans souci de liaison aux autres savoirs qui composent le métier. Pour guider l'élève, il existe parfois des algorithmes explicites, parfois non, et, pour s'appropriier la procédure, l'élève, selon le cas, exécute des étapes formellement décrites ou copie, imite le modèle de référence proposé. Cette façon d'apprendre et d'enseigner correspond d'assez près à l'approche procédurale de la formation professionnelle dont il a été question à la première section et s'avère appropriée, rappelons-le, dans un contexte de complexité limitée, mais non quand croît cette complexité.

Dans une certaine mesure, nous pourrions réduire toute la connaissance technique à des faits particuliers et à un ensemble approprié de procédures générales ou spécifiques puisqu'ils suffisent souvent à l'exécution des tâches. C'est d'ailleurs ce que suppose avec succès l'industrie florissante de la robotique qui fabrique des robots de toutes sortes programmés pour accomplir de manière experte des tâches de plus en plus complexes et variées. Certains peuvent même tirer profit de leur «expérience» en modifiant leur programme en conséquence: ils apprennent (Michalski, Bratko et Kubat, 1998). C'est aussi ce que suppose une certaine conception, très behavioriste, de la formation professionnelle technique qui soutient que seul compte le résultat et qu'il suffit en conséquence d'habiliter les élèves à exécuter, selon les normes, les tâches qui leur sont assignées pour qu'ils soient compétents. Le marché de l'emploi et les partisans d'une formation professionnelle écourtée tiennent fré-

quemment un discours semblable. Pourtant, tout expert humain possède aussi d'autres connaissances, de nature plus spéculative, dont la nécessité est généralement reconnue dans les programmes de formation. Ce sont les connaissances dites théoriques qui, sous forme de disciplines connexes (physique, chimie, biologie ou autres), exposent les concepts et principes sous-jacents à l'activité technique que, sans eux, on ne saurait comprendre ni justifier. Ce sont aussi des connaissances empiriques, des données d'expérience, qui, à défaut d'expliquer l'activité technique, permettent au moins d'en valider les effets. Pensons à la classification des plantes par zone de viabilité, par exemple, qu'un horticulteur se doit de maîtriser et d'interpréter, ou aux propriétés des huiles dans le cas d'un mécanicien. Ces connaissances sont inutiles la plupart du temps dans la vie professionnelle du technicien, car il lui suffit d'appliquer systématiquement les mêmes remèdes aux mêmes maux, mais elles deviennent quasi obligatoires à chaque fois qu'un contexte plus difficile surgit, qu'un nouvel équipement fait son apparition ou qu'il faut expliquer à un collègue ou à un client la nature d'un problème ou de sa solution, aussi bien dire très régulièrement.

Ce genre de connaissances est donc, on l'aura compris, d'une extrême importance dans une perspective fonctionnelle. Mais elles sont ardues à identifier avec précision et à organiser – cet aspect sera traité sous la catégorie de la forme des connaissances expertes –, car cela nécessite une analyse approfondie du domaine. Alors, souvent, presque par la force des choses, une quantité de matière nettement plus considérable que ce qui est requis est imposée aux élèves. Matière, par ailleurs, régulièrement enseignée en quasi complète indépendance de la pratique du métier, détachée de lui, ce qui en diminue encore la pertinence. Elle se retrouve dans des livres, des logiciels, des didacticiels ou sous d'autres formes; elle respecte la logique de la discipline qui lui a donné naissance plutôt que la logique du domaine technique qui en fait usage. À la place d'une science utilitaire, la «science du technicien», c'est à une science explicative, bien qu'elle soit appliquée, la «science du scientifique», qu'on aboutit, car elle en reprend la structure. Pour les élèves, le résultat se traduit malheureusement trop souvent en échec, en «bêtes noires» et en jugements lapidaires.

Une des solutions partielles à ce douloureux problème consiste en une analyse fine du domaine professionnel, des tâches qui y sont exécutées ou, plus simplement encore mais tout aussi valablement, de programmes de formation bien conçus comme il en existe; cela pour faire ressortir les concepts et les principes réellement essentiels à l'exercice du métier de façon à en limiter la quantité enseignée. Dans cette perspective, une méthode fut élaborée il y a une dizaine d'années par Gagnon, Besançon, Jean, Gagné et Leclerc, (1989) qui mirent ainsi en évidence, dans le cas de l'électromécanique des systèmes automatisés, le faible nombre relatif de concepts et principes physiques sans lesquels une pratique fonction-

nelle du métier serait impossible. Il faut se concentrer sur ceux-là qu'aucun technicien compétent ne saurait ignorer et délaïsser les autres. On peut prévoir que des résultats similaires seraient obtenus ailleurs, dans d'autres domaines de formation (voir Adambounou, Landry et Dionne, 1995; Cochenne, 1991; Lord, 1993; Amoan, 1995). Quant à la signification opératoire de l'expression « science du technicien », nous y revenons ci-après.

La forme

Les connaissances du technicien expert font-elles partie d'ensembles structurés, cohérents, valides, fiables et opératoires ou, au contraire, sont-elles fragmentaires, contextuelles, vagues et mal assurées, correspondant davantage à des perceptions, à des intuitions? De toute évidence, le niveau de formalisation, et de certitude, des connaissances d'un individu varie grandement de l'une à l'autre, d'un sujet à l'autre, chacun de nous peut en attester. Si, dans le cas d'un expert, il est probable que ses connaissances les plus formelles se retrouvent dans son champ d'expertise, sans que tout ce qu'il sait de ce champ soit du même niveau, leur forme spécifique, c'est-à-dire la représentation qu'il s'en fait, dépend presque à coup sûr, en revanche, d'un ensemble de facteurs tels que le style d'apprentissage de l'expert, le domaine professionnel qui le concerne, le milieu dans lequel il évolue, l'ensemble de ses connaissances, ainsi que des aspects inconscients de sa personnalité sous lesquels l'intuition pourrait être rangée. À n'en pas douter, une libre expression des connaissances communes à un groupe d'experts d'un même domaine révélerait une grande diversité de représentations¹⁴.

À cet égard, on pourrait souhaiter que l'environnement de formation soit capable d'accommoder tous les modes de représentation des connaissances importants dans les divers métiers et professions, spécialement les dessins, schémas et cartes conceptuelles, si largement répandus, en plus des discours libres écrits ou oraux, des équations mathématiques et des graphiques, car les préférences individuelles en la matière vont de pair avec les styles d'apprentissage, pas seulement avec le domaine en cause. Les multimédias actuels couvrent sans exception tous ces modes et plus encore; la principale difficulté est ailleurs; elle est d'ordre pédagogique, car il faut aussi interpréter les productions. Constituer le dossier d'un élève, y verser toute pièce susceptible de caractériser ce dernier, consigner chacune de ses activités est une chose, mais générer un modèle d'élève qui fasse progresser et soutienne l'action pédagogique est autrement plus compliqué (Bruillard, 1997). L'expression des conceptions, pourtant recommandée dans les pédagogies constructivistes les moins radicales, se bute à tant de difficultés d'ordre interprétatif qu'on la retrouve beaucoup plus fréquemment dans les publications scientifiques que dans les salles de classe du secteur professionnel. Un travail de recherche considérable est encore à réaliser sur le sujet avant que la pratique enseignante en fasse

son pain quotidien. Dans ces conditions, si l'ordinateur en particulier peut être utile à quelque chose, c'est en facilitant l'expression des conceptions d'élèves par des moyens inhabituels en classe, grâce notamment aux ressources inouïes de l'auto-route électronique comme à des traitements nouveaux de mode d'expression traditionnel de connaissances (Ettayebi et Gagnon, 1993; Gagnon et Ettayebi, à paraître; Gagnon et Leclerc, 1994), mais peut-être surtout en assistant les enseignants, et plus généralement les intervenants de la formation, dans la gestion et la mise en œuvre d'approches pédagogiques de plus en plus complexes que les recherches en éducation ne manquent d'annoncer¹⁵. Cela nous semble plus réaliste que d'escompter un traitement automatique intelligent, par un tuteur intelligent ou autre logiciel spécialisé, des productions d'élèves relatives à leurs conceptions. D'ailleurs, le but de la formation n'est pas de connaître ces conceptions d'élèves, mais plutôt d'amener ceux-ci à développer une structure cognitive qui s'accorde aux objectifs des programmes et donc à modifier leurs conceptions.

Il n'est pas toujours facile cependant, ni même possible, d'influencer comme on le voudrait les conceptions que se fait un élève d'un sujet donné. Néanmoins, on sait que la manière de le former modèle durablement celles-ci. Ainsi, des enseignants du secteur professionnel français, ayant reçu une formation scolaire dans le métier qu'ils enseignent, ont démontré de la profession enseignante une conception très différente de celle qui a été développée par d'autres de leurs collègues formés au métier par voie plus empirique, par apprentissage ou une longue pratique du métier (Tanguy, 1991). On peut supposer que pour ces derniers, le niveau de formalisation de leurs connaissances expertes était moins élevé et gardait un caractère contextuel ou associatif important. De façon analogue, nous avons vu aussi les compétences très différentes produites par les formations procédurale et conceptuelle (Luc, 1994).

S'il en est ainsi, une perspective fonctionnelle du domaine professionnel étudié pourrait effectivement être inculquée aux élèves, mais à deux conditions. D'une part, les contenus d'apprentissage proposés devraient refléter cette perspective, comme nous le verrons par la suite; d'autre part, le cheminement pédagogique choisi devrait conduire les élèves à des savoirs signifiants, c'est-à-dire utilisables à bon escient dans des situations réelles. Pour la construction d'un environnement de formation, cela implique que la base de connaissances du domaine adopte cette perspective et que la base de connaissances pédagogiques en favorise le développement. Cela implique aussi que, s'il y en a un, le modèle de l'élève soit conçu en fonction des mêmes objectifs. Mais, sur le plan concret, intéressons-nous à la structuration des connaissances du domaine, à leur forme en fait, car elle peut à elle seule exprimer le principe fonctionnel.

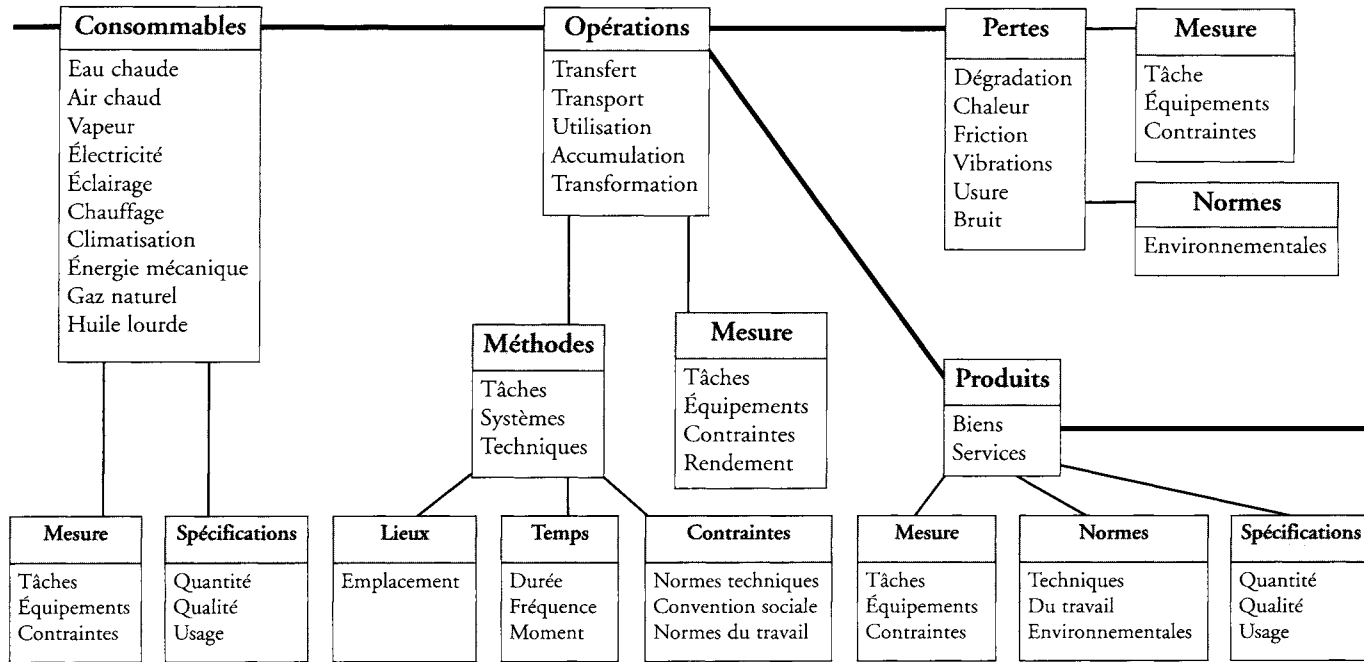


Figure 1 – Structure conceptuelle technoscientifique de la consommation énergétique en milieu de travail. Cette structure relie la production et l'utilisation de l'énergie sous diverses formes à la première loi de la thermodynamique (figure extraite de Vaillancourt et Gagnon, 1997).

Une connaissance fonctionnelle met en relation des buts et des moyens, comme dans la proposition suivante: le thermostat d'un système de chauffage domestique existe pour régulariser la température ambiante de la maison à la valeur désirée par ses occupants. Une analyse même superficielle d'une telle proposition fait ressortir qu'une compréhension fonctionnelle de celle-ci requiert des connaissances de physique («Qu'est-ce que la température?», «Comment la mesure-t-on?»), de biologie ou de psychologie («Quelle est la zone de confort des êtres humains?», «Quelle variation de température peuvent-ils supporter sans en ressentir de l'agacement ou de l'inconfort?», «Cela dépend-il de l'âge?»), des connaissances de mathématiques aussi et d'autres disciplines¹⁶. Dans une perspective fonctionnelle, semblables relations devraient être incorporées à la base de connaissances formalisées d'un environnement de formation, de même que les concepts et principes scientifiques de toute nature requis pour leur donner sens. Cela pourrait prendre la forme de réseaux sémantiques multidisciplinaires (les structures conceptuelles technoscientifiques de la première section de cet article, dont la figure 1 présente un exemple), car ils offrent de nombreux avantages dont celui, non négligeable, de faciliter la simulation (Gagnon et Lacerda, 1998).

Pour bien faire les choses cependant, on aurait aussi besoin d'un questionnement inverse, plus problématique, car il est peu familier à l'enseignement scientifique traditionnel bien qu'il soit coutumier en technologie; un questionnement, osons-nous dire, vital pour une formation fonctionnelle, car il renvoie à l'utilité concrète des connaissances scientifiques, à leur fonction dans le système technique et dans les gestes mêmes du technicien. «Quel rôle la température joue-t-elle dans la constitution du thermostat?», «En quoi est-elle utile pour ajuster celui-ci?», «Quantitativement?», «Qualitativement?», «Que dit la biologie sur cette question?», «Que dit la psychologie?», «Que dit la coutume?», «Et la société?», «Et les normes?», etc. Toutes questions qui n'ont pas leur place dans l'enseignement traditionnel de la température, car c'est de la «physique du technicien» qu'il s'agit ici. La science n'est plus «appliquée», comme une maîtresse de la technique, mais se fait servante, soutient l'action technique; elle se généralise aussi, faisant place tant aux sciences physiques qu'aux sciences de la vie et aux sciences humaines. Le renversement de point de vue est de conséquence, car il confère pertinence aux connaissances scientifiques si généralement décriées par ailleurs. C'est cette science-là qu'il faut modéliser dans la base de connaissances des environnements de formation, mais une science hélas, sous bien des aspects, à construire et pour laquelle trop peu d'efforts ont encore été consacrés¹⁷. Nous avançons malgré tout l'idée que l'hypertexte est particulièrement adapté pour établir des liens entre les versants scientifique et technique des réseaux conceptuels qui résultent de la perspective fonctionnelle. L'élève pourrait dès lors, suivant les consignes pédagogiques, basculer d'un versant à l'autre, considérant soit l'explication technoscientifique d'un système technique de son domaine (un système de chauffage domestique, par exemple, serait vu

par des techniciens du bâtiment, au travers des concepts scientifiques utiles pour le représenter), soit les diverses utilisations que fait son domaine professionnel d'un même concept scientifique et, s'il le faut, la nature de ce concept (ainsi, la température intervient dans une foule de systèmes associés aux technologies du bâtiment)¹⁸.

Mais la question du transfert des connaissances scientifiques d'un domaine à l'autre se pose alors puisque, pour des raisons de pertinence requise, elles sont en partie définies par les champs de pratique. Devrions-nous, dans ces conditions, constituer une science distincte pour chaque domaine professionnel et sacrifier la remarquable unité que nombre de disciplines scientifiques sont parvenues à atteindre¹⁹? Sans doute s'agirait-il là d'une position extrême. Néanmoins, nous sommes convaincu que, pédagogiquement, la science d'un technicien universel n'existe pas davantage qu'un résolveur de problèmes universel. C'est pourquoi il nous paraîtrait plus judicieux, comme dans ce dernier cas, de considérer des classes techniques limitées – pour chacune desquelles une science distincte serait construite – que d'imposer une science unique à des élèves qui n'en veulent pas. Nous obtiendrions un petit nombre de « sciences », une pour les techniciens du monde physique, une autre pour ceux de la santé, etc. Il faudrait bien sûr tenir compte du niveau des programmes et s'assurer que chacune des sciences ainsi constituées soit compatible avec la discipline scientifique correspondante. Comme on le constate, dans une perspective fonctionnelle de la formation professionnelle technique, le didacticien, comme le concepteur de programme ou d'environnement, est pris entre deux feux, celui d'une science universelle, puissante, pérenne, mais combien inutile, et celui d'une science à la carte, suffisante, pertinente, mais éphémère.

La généralité

Trois fois depuis le début de nos considérations sur la connaissance experte avons-nous évoqué directement ou indirectement, la question de la généralité des connaissances. D'abord, à propos des connaissances de l'expert qui débordent son champ d'expertise mais qu'il utilise néanmoins, puis au sujet des stratégies cognitives en apparence communes à divers domaines professionnels techniques puis lors de notre dernière interrogation quant au transfert des connaissances scientifiques. C'est dire l'importance qu'occupe cette question de la généralité des connaissances dans l'expertise professionnelle technique et, par voie de conséquence, dans la problématique éducative. En effet, par le biais du contexte, elle met en cause, au premier degré, la capacité d'agir du technicien dans son propre environnement professionnel et, en arrière-plan, pose le problème de son évolution professionnelle.

D'un point de vue formel, une bonne partie des connaissances d'un expert, relatives ou non à son domaine d'expertise, correspond à des connaissances officielles, construites et validées suivant des critères reconnus par une communauté importante d'individus. Ces connaissances constituent le savoir véritable d'une

société, des connaissances générales, publiques et transférables, le plus souvent fortement structurées et formalisées, sur lesquelles reposent les domaines professionnels et les champs d'expertise. C'est à partir de ces connaissances officielles que sont conçus les programmes d'études. Pour les mêmes raisons, c'est aussi à partir d'elles que devraient se constituer les structures conceptuelles de référence et les bases de connaissances formalisées du domaine d'un environnement de formation. Cependant, prises isolément, les connaissances officielles d'un expert sont inopérantes, car elles sont par trop décontextualisées; il lui faut les rattacher à des activités concrètes pour leur donner sens et les valider à ses propres yeux. C'est pourquoi, en contrepartie, une autre espèce de connaissances existe aussi chez l'expert, qui rassemble des connaissances uniques, essentiellement individuelles et privées. Fruits d'expériences personnelles, reliées ou non à sa vie professionnelle, ces connaissances se multiplient avec l'âge et constituent presque à coup sûr la majorité de toutes celles que possède l'expert. Combinées aux connaissances officielles, elles lui permettent de fonctionner, d'agir sur son environnement, car des liens d'action signifiants ont de ce fait été créés entre les deux espèces de connaissances. C'est par la richesse et par l'intégration de ces dernières qu'on reconnaît d'ailleurs un expert chevronné. Mais, comme les connaissances privées sont fortement contextualisées, elles conservent un caractère éventuel et contingent; elles ne sauraient donc être utiles à un grand nombre d'individus, tant elles sont difficiles à partager ou à transférer. À toutes fins utiles, elles caractérisent, pour l'essentiel, ce que nous appelons l'«expérience».

Depuis plusieurs années déjà, de nombreuses recherches sont conduites sur ces connaissances d'expérience et sur les meilleurs moyens de les acquérir, peut-être même de les transmettre à d'autres, afin de faciliter et de mieux contrôler, si cela est possible, l'accès à l'expertise (Schön, 1987; Barbier, 1998). Ainsi, dans la foulée d'une remise en question de la formation des maîtres et dans le courant de professionnalisation qui l'accompagne, la pratique enseignante est-elle scrutée avec attention (Tardif, Lessard et Gauthier, 1998). Il en va de même en industrie qui, en raison du contexte socioéconomique contemporain, revoit ses méthodes et ses procédés pour les automatiser, pour accroître sa productivité ou, encore, pour récupérer une expertise professionnelle en voie de disparition à la suite des retraites et des mises à pied massives. Des analyses fines du travail sont faites pour expliciter et formaliser le mieux possible cette expertise souvent tacite et alors soit transmettre celle-ci à d'autres par le biais de la formation ou autrement (Samurçay et Pastré, 1995), soit encore élaborer des systèmes experts.

De toute évidence, ces travaux qui permettent une objectivation partielle des connaissances d'expérience pourraient être utiles à la mise au point d'environnements de formation. Quand ils conduisent à des structures conceptuelles de type technoscientifique, pour expliciter et expliquer l'activité technique par exemple (Samurçay et Pastré, 1995), ils s'inscrivent tout naturellement dans une perspective fonctionnelle et pourraient contribuer à définir la base de connaissances du

domaine. Quand ils conduisent à la mise au jour de conditions d'actions sous forme d'heuristiques, de règles de production ou de répertoires de cas, ils s'accordent davantage avec la formation procédurale, mais guideraient avantageusement l'élaboration de banques de situations problèmes particulièrement réalistes. Quand, enfin, ils conduisent à la prise de conscience, par l'expert lui-même, de compétences effectives jusque-là inconnues de lui, c'est de son évolution professionnelle personnelle qu'il est directement question (Rabardel et Six, 1995); des méthodes similaires ne pourraient-elles alors être implantées dans la base de connaissances pédagogiques de l'environnement pour des résultats comparables auprès d'élèves ou de stagiaires ?

Sur le plan pratique, tous ces travaux aident à réduire la distance qui sépare la connaissance privée experte de la place publique des lieux de formation. Mais ils renforcent aussi la pertinence d'un modèle dynamique de l'élève, capable d'évoluer avec la complexification des liens que ce dernier ne manquera pas de produire entre les savoirs officiels qu'il veut assimiler et sa propre expérience, un modèle qui ferait appel, probablement souvent, à des outils d'expression de conception, un modèle malheureusement difficile à construire.

Par ailleurs, malgré tous les efforts qu'on pourrait fournir pour y parvenir, tout ne peut pas être explicité des connaissances d'expérience d'un expert chevronné car, comme dit Leplat (1995), elles demeurent largement « incorporées à [son] action », c'est-à-dire « difficilement verbalisables, [...], difficilement dissociables, très liées au contexte ». Nous retrouvons là bien sûr la problématique de la cognition située (Lave et Wenger, 1993) selon laquelle, explique Bruillard (1997), « l'expérience est primordiale, la réalité ne peut être objectivement décrite ou modélisée, les représentations prennent sens grâce à la perception » (p. 219). À tel point que la possibilité de réaliser des tuteurs intelligents véritablement efficaces est contestée, note-t-il encore (idem, p. 222). Cela pourrait contraindre sérieusement les formes d'environnements de formation viables.

Ce problème de la généralité des connaissances serait-il donc tellement insoluble qu'il emporterait avec lui l'objectif qui lui a donné naissance ? D'autant plus qu'il « contamine » également la dernière catégorie de connaissances expertes qui nous intéresse.

L'origine

D'où viennent les connaissances d'un expert ? Dans quelles conditions ont-elles été acquises ? Nous distinguons trois sources pour nos besoins : a) le milieu scolaire et son contexte de formation structuré et organisé ; le plus souvent, c'est là qu'on acquiert un premier niveau d'expertise professionnelle, à un âge plus ou moins avancé selon les cas ; le milieu scolaire constitue la source première de

connaissances formelles; b) la vie active et, en particulier, le marché du travail où l'on assimile, sur le tas et par des voies empiriques, au hasard des expériences de vie et de travail, quantité de connaissances de tous ordres, certaines de portée assez générale et d'autres plutôt associées à des cas particuliers; c) une autre source enfin est représentée par la formation continue; l'expert acquiert alors des connaissances dans le cadre de cours de perfectionnement, de conférences, d'ateliers de réflexion, de façon plus ou moins structurée selon les cas, résultant en des niveaux variables de formalisation; d'autres connaissances s'apprennent aussi, en autodidacte, à partir de toutes formes de documentation; les connaissances acquises en formation continue peuvent bien sûr traiter ou non du domaine d'expertise.

Il y a donc un temps, un lieu et un mode de formation associés aux diverses connaissances de l'expert, un contexte en somme qui conduit à des sujets, à des formes et à des degrés de généralité différents pour chacune d'elles. Quand plusieurs contextes recoupent à peu près un même sujet, par exemple à l'école, à la maison, en formation continue et au travail, ils interfèrent entre eux produisant une résultante parfois méconnaissable si on la compare à son état initial. C'est ce qui se produit très fréquemment avec les connaissances expertes qui ont longtemps servi, souvent et dans des situations variées; elles s'automatisent en quelque sorte et, devenues tellement efficaces qu'elles ont quitté la conscience, ne s'arrêtent que sur l'essentiel qu'elles savent discerner sans aucun effort. Elles oublient littéralement leur origine, au point que l'expert ne sait plus bien dire comment il procède ni d'où il tient sa compétence (Anderson, 1982; Leplat, 1995). Cette connaissance, la plus riche que l'expert détienne, représente, en fait, l'un des innombrables points d'arrivée possibles d'un cheminement professionnel réussi, mais en aucun cas son point de départ; elle est donc mal indiquée pour la formation de novices²⁰. D'un autre côté, les connaissances qui ont moins servi, celles qui sont plus récentes et toutes celles qui sont mal intégrées les unes aux autres conservent davantage leurs caractéristiques originelles, tout simplement parce qu'elles ont eu moins d'occasions pour être transformées. C'est là qu'on retrouve les savoirs spontanés quand la formation organisée n'en a pas tenu compte, les savoirs scolaires assimilés également, poussiéreux ou rouillés mais qui reviennent vite pratiquement inchangés, bien préservés qu'ils ont été par leur forme savante, et les savoirs plus récents que le temps n'a pas encore éprouvés mais que l'andragogie fait reposer sur l'existant, expérience comprise, des savoirs de l'expert. Si l'on photographiait le cerveau d'un expert, il ressemblerait au ciel d'une nuit claire, avec des étoiles distinctes, brillantes ou perceptibles à peine, avec des constellations aussi, ces réseaux d'étoiles, et des galaxies, amas lointains si bien intégrés parfois qu'on dirait une étoile unique, à distance indéterminée. Des objets de tous les âges, depuis les origines de l'univers jusqu'à aujourd'hui. Einstein, Aristote, Rimbaud, Cro-Magnon, Mathusalem et tout le voisinage réunis sur un même cliché: l'histoire entière de l'expert.

De ce réseau asynchrone de connaissances expertes, que reste-t-il qui soit transmissible aux élèves? Sans équivoque, bien peu de choses. Que les connaissances formelles et générales, à condition qu'elles soient adaptées au niveau des élèves. Les autres sont trop spécifiques, trop embrouillées dans des contextes particuliers inintéressants pour eux ou, pis encore, vraiment impossibles à verbaliser tellement elles sont incorporées à l'action. Une toute petite récolte en somme, à peine surprenante, car de quoi sont faits les programmes de formation professionnelle technique sinon précisément de ces mêmes connaissances? De quoi est faite la formation continue des techniciens quand elle cherche à les spécialiser? Quelle est la matière des volumes, des revues professionnelles? Le reste n'est pas transmissible comme tel et doit être vécu par les apprenants eux-mêmes, par le biais de stages ou autrement. C'est pour cela que l'apprentissage *in situ* prend tant d'importance de nos jours, pour permettre justement ces apprentissages si mal formalisables. Et que la maïeutique a toujours existé, pour «accoucher» les esprits de ce qu'ils «savent» déjà. Mais c'est aussi pour cela qu'un autre type de compétences pédagogiques doit être identifié, formalisé et implanté dans les bases de connaissances pédagogiques d'environnements de formation pour qu'ils soient fonctionnels: la «gestion de l'ignorance» qui fait l'objet de la prochaine section.

La gestion de l'ignorance

Bien qu'elles permettent une modélisation de la connaissance experte utile à la mise au point des bases de connaissances d'un environnement de formation, les catégories qui viennent d'être établies sont des outils d'analyse et ne reflètent que dans une très faible mesure la structure cognitive d'un expert. En effet, les connaissances de l'expert sont indissociablement liées et nulle catégorisation ne saurait en réduire la complexité. Par conséquent, les bases de connaissances formalisées de tout environnement fondé sur des connaissances expertes sont forcément incomplètes, ce qu'on admet depuis longtemps déjà dans le domaine de l'intelligence artificielle (Bruillard, 1997, p. 40)²¹.

En particulier, comme l'a montré notre analyse, la base de connaissances formalisées du domaine contient au mieux deux éléments: des connaissances propres au domaine incluant ses stratégies cognitives propres, c'est-à-dire les méthodes de diagnostic et de résolution de problèmes spécifiques à ce domaine – ces connaissances sont nécessairement officielles, publiques et transférables et définissent pour une large part la discipline. En outre, cet autre type de stratégies cognitives et métacognitives plus générales permettent à l'individu, en cours de formation mais aussi une fois formé, d'acquérir des connaissances contextuelles, individuelles et privées, constituant ainsi sa propre expérience sans laquelle il ne saurait devenir expert: des méthodes de travail, des stratégies d'observation, de cueillette de données, de résolution de problèmes, des connaissances méthodologiques communément répandues chez les techniciens compétents de toute spécialité.

Il est évident qu'ensemble ces deux éléments ne recouvrent qu'une fraction très partielle des connaissances d'un individu. Or, le milieu de formation doit favoriser chez l'apprenant le développement d'une structure cognitive fonctionnelle et unifiée, intégrant le plus possible la totalité de ses savoirs. Comme l'accès à ceux-ci par un agent externe²² est forcément limité même pour un enseignant humain, il s'ensuit qu'on doit favoriser l'apprentissage de l'élève en dépit d'une ignorance importante et inévitable des savoirs de ce dernier (Gagnon, 1996). Appelons cela « gérer l'ignorance ». En milieu scolaire traditionnel, même l'enseignant compétent gère avec peine sa propre ignorance des savoirs privés des élèves, en recourant entre autres à des méthodes interactives et en faisant appel à ses connaissances générales. Cela l'habilité, d'une part, à évoquer des éléments culturels signifiants pour les élèves (des exemples, des analogies, etc.) et, d'autre part, grâce à sa connaissance particulière du milieu social dans lequel il œuvre, à inférer des cadres de référence vraisemblables auxquels peuvent se rattacher les élèves dans une situation d'apprentissage donnée. Sélectivement, il fait aussi confiance aux élèves qu'il responsabilise face à leur propre apprentissage. Tout cela facilite son travail de pédagogue et réduit quelque peu les effets de son ignorance de la plus grande part des savoirs des élèves. Dans le cadre d'un environnement de formation, l'ordinateur pourrait contribuer à mieux faire encore.

L'ignorance est un phénomène complexe et polymorphe. Très peu étudiée²³, considérée plutôt négativement mais inévitable car on ne saurait tout connaître, elle a généré dans toutes les sphères de l'activité humaine nombre d'approches et d'instruments pour la délimiter et la contrôler: calculs d'incertitudes, méthodes d'essais-erreurs, modèles probabilistes... Plus récemment, mais toujours avec des objectifs semblables, on a vu apparaître encore la logique floue (Bouchon-Meunier, 1993), la rationalité limitée (Simon, 1996, 1997), le *design* flexible (Winograd et Flores, 1986) et les systèmes souples (Checkland, 1981). Toutes ces nouvelles approches tendent à se généraliser; certaines d'entre elles, particulièrement les dernières, ont d'ailleurs frayé leur chemin jusqu'en éducation (Lapointe, 1992).

Mais si le principe d'une gestion possible de l'ignorance est, à ce jour, pratiquement établi, nous ne disposons pas encore d'une théorie satisfaisante de l'ignorance pour guider nos actions. Une attitude pragmatique s'impose alors.

La figure 2 souligne les différences et les ressemblances entre la connaissance professionnelle technique d'un expert humain et celle modélisée dans la base de connaissances formalisées du domaine d'un environnement de formation. En ce qui concerne l'expert, on y trouve, en particulier, des éléments de nature et de structure partiellement communes à tous les experts du domaine: les savoirs d'enseignement, objets de transfert, composés des savoirs publics du domaine et des stratégies cognitives publiques générales ou propres au domaine. On y trouve aussi d'autres savoirs, spécifiques à l'expert et fortement dépendants de son expé-

rience: ses savoirs privés propres au domaine, ses stratégies cognitives personnelles de même que l'ensemble de ses autres connaissances publiques et privées. Tous les savoirs de l'expert sont plus ou moins étroitement liés entre eux tels des vases communicants. Du côté de l'environnement de formation, par contre, on ne retrouve que des savoirs publics du domaine et des stratégies cognitives publiques (tant générales que propres au domaine), soit une banque de connaissances rachitique par rapport à celle d'un humain et, toute seule, inopérante puisqu'elle est incapable d'expérience. Pour que l'environnement joue efficacement son rôle, il faut donc doter, autant que faire se peut, sa base de connaissances pédagogiques de stratégies de gestion d'ignorance pour aider l'apprenant à relier les connaissances enseignées dans l'environnement au reste de ses connaissances, celles qui, pour la plupart, sont inconnues de l'environnement. Les types de connaissances pour lesquels doivent être mises en œuvre ces stratégies sont identifiés à la figure 2. Seuls les savoirs d'enseignement y sont incorporés. Pour favoriser l'intégration cohérente (représentée par des traits pleins) de ces savoirs d'enseignement à l'ensemble des savoirs d'un individu en formation, l'environnement fera appel à des stratégies de gestion de l'ignorance. Celles-ci sont incluses dans la base de connaissances pédagogiques de l'environnement et n'apparaissent donc pas explicitement sur la figure 2.

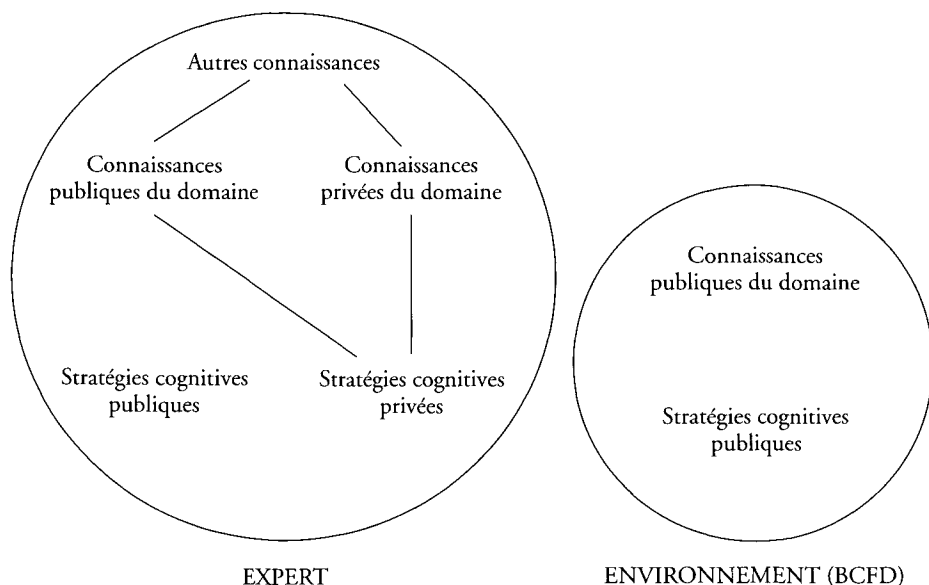


Figure 2 – Comparaison des connaissances d'un expert humain et de la base de connaissances formalisées du domaine (BCFD) d'un environnement de formation

Deux voies se présentent alors, opposées mais non contradictoires, complémentaires au contraire. L'une conduit à réduire l'ignorance des savoirs de l'élève, à la contrer, à tenter d'en connaître davantage sur ce dernier, à interpréter ses productions, à contrôler la connaissance qu'il acquiert; c'est une voie conceptuelle, fonctionnelle même, celle, en gros, du modèle de l'élève. À l'inverse, l'autre voie conduit à augmenter cette ignorance, à la favoriser, à placer l'élève en situation de connaître, d'expérimenter, d'explorer, mais sans qu'il dise ce qu'il a appris, à contrôler le processus de son apprentissage; c'est une voie procédurale, pragmatique, celle des micromondes, de l'hypertexte et des démarches pédagogiques qui développent les savoirs privés des élèves (la mémoire des sens par exemple, fréquemment sollicitée dans l'activité technique).

Pour l'une ou l'autre de ces voies, des stratégies spécifiques pourraient être élaborées en tenant compte des besoins, des contraintes techniques et matérielles, des individus en présence et de la philosophie éducative à respecter. En particulier, la perspective fonctionnelle que nous avons adoptée pour la formation professionnelle technique implique à la fois pour l'élève autonomie et conformité, c'est-à-dire une double validation, individuelle et sociale, de ses compétences professionnelles. La base de connaissances pédagogiques de l'environnement doit faciliter cette double validation. C'est par une démarche pédagogique orientée qui incorpore explicitement cette problématique qu'elle y parviendra, capable de gérer suffisamment bien l'ignorance des savoirs de l'élève par un dosage soigné des moyens offerts pour chacune des voies existantes. Il serait utopique de chercher à identifier systématiquement, pour la contrôler, toute la connaissance de l'élève technicien; cela serait coûteux, long et déresponsabilisant pour celui-ci. Mais il serait dangereux, à tout le moins, de ne contrôler que le processus d'acquisition des connaissances de l'élève car, nous l'exigeons tous, le technicien professionnel a des comptes à rendre. Mais les démarches pédagogiques susceptibles de produire les effets recherchés sont encore émergentes, en cours de définition, de formalisation et, nous l'avons déjà mentionné, sophistiquées et elles-mêmes compliquées à gérer. C'est ici que l'ordinateur peut jouer un rôle immense pour encadrer la planification des activités pédagogiques et baliser pour l'enseignant les voies de l'ignorance.

Ainsi, les connaissances hors domaine de l'apprenant pourraient être reliées aux siennes propres du domaine par l'une et l'autre voies. Certaines analogies, par exemple, sont classiques en formation technique: les circuits électriques à courant continu de l'électricien sont fréquemment comparés aux circuits hydrauliques du plombier, le photographe se fait régulièrement peintre, il peint avec la lumière. D'autres sont plus récentes mais en voie de s'imposer, telles, dans plusieurs domaines, la fenêtre artificielle, cette interface graphique quasi universelle. Sur le plan pédagogique, la voie conceptuelle paraît dans ces cas-là la plus avantageuse. Mais pour d'autres rapprochements, ceux des trucs personnels par exemple,

la voie procédurale semble être à préférer. Les connaissances antérieures des élèves, leurs conceptions, leurs représentations pourraient aussi emprunter les deux voies; il est évident que toutes ne sauraient être explicitées (et encore moins traitées), néanmoins, le simple fait de les exprimer, pour soi, est déjà formateur. Quant aux savoir-faire (différents de la description de ceux-ci qui est de l'ordre des savoirs), aux connaissances sensibles (perçues et appréciées subjectivement), aux connaissances individuelles ou privées (extrêmement variables d'une personne à l'autre), elles obtiendront le plus souvent un meilleur traitement par la voie procédurale. Le degré de certitude, c'est-à-dire la confiance que l'apprenant accorde à ses propres connaissances, mériterait d'être incorporé à un modèle d'élève. Bien qu'il soit subjectif, il sait influencer l'activité pédagogique. Enfin, bien d'autres stratégies qui se rapportent à autant de facettes de la connaissance professionnelle technique sont envisageables. Pour elles aussi, dirons-nous seulement, les besoins, les contraintes et les ressources disponibles orientent les choix.

En somme, la gestion de l'ignorance est une voie prometteuse pour pallier les connaissances incomplètes de tout environnement de formation. Il faudrait l'approfondir, mieux la comprendre pour dégager des modes opératoires plus complets, mieux définis. À cet égard, des recherches seraient nécessaires suivant les dimensions épistémologique, pédagogique, didactique et informatique. Des études critiques extensives de toutes les avancées faites dans d'autres domaines pour mieux cerner le concept seraient aussi bénéfiques. Mais d'ici là, nous l'avons montré suffisamment, nous pouvons faire beaucoup.

Conclusion

Nous avons considéré les environnements de formation assistée par ordinateur, comme une réponse partielle à la problématique contemporaine de la formation professionnelle technique. Dans un premier temps, nous avons exposé cette problématique et préconisé le développement d'une connaissance fonctionnelle chez le technicien, qui allie savoirs techniques et savoirs scientifiques. Puis, dans cette perspective, nous avons analysé sous des angles multiples la nature des connaissances techniques expertes en distinguant le sujet sur lequel elles portent, leur aspect formel, leur degré de généralité et leur origine dans le système de connaissances de l'expert. Nous avons proposé que les connaissances du domaine soient organisées sous forme de réseaux conceptuels technoscientifiques et montré l'étroite dépendance des diverses catégories de connaissances entre elles. Le problème de la généralité limitée des connaissances et la présence chez l'expert de connaissances privées ou faiblement partagées nous a conduit au concept peu familier de gestion de l'ignorance qui exige que des stratégies spéciales soient incorporées à l'environnement de formation pour unifier les connaissances privées de l'élève technicien et ses connaissances publiques. Nous en avons, croyons-nous,

démontré la nécessité. Deux voies pour ce faire ont été étudiées, le contrôle des connaissances, suivant un modèle de l'élève, et le contrôle des processus d'apprentissage, au moyen d'activités guidées mais sans que les productions de l'élève soient obligatoirement examinées ni même recueillies. Plusieurs stratégies appropriées et efficaces existent déjà pour opérationnaliser convenablement ces deux voies. Elles peuvent être utilisées telles quelles ou adaptées selon les circonstances. Les micro-mondes et l'hypertexte sont de celles-là, car ils facilitent l'exploration – Ted Nelson ne dit-il pas de l'hypertexte qu'il permet « à la véritable incertitude d'être conservée » (rapporté par Bruillard, 1997, p. 234) – ; le dialogue interactif et les questionnaires aussi, qui servent à la construction d'un modèle de l'élève; ainsi que le recours à toutes les ressources de l'environnement de formation, les ateliers professionnels, le monde du travail, les bibliothèques, les autres élèves et les enseignants.

Nous savons combien il est difficile de modéliser l'élève, mais nous savons aussi qu'il l'est tout autant de le responsabiliser face à ses apprentissages. C'est pourquoi la gestion de l'ignorance devient intéressante. Par un contrôle judicieux des connaissances mobilisées dans la situation d'apprentissage et des processus en cause, on peut jouer sur les deux tableaux: quand une voie devient trop aride, trop laborieuse, trop peu profitable, on change et on prend l'autre. Jusqu'à ce qu'elle aussi fasse défaut. Mais il y a des limites à la capacité de former autrui.

Comme il y a des limites à modifier l'environnement habituel de la formation professionnelle par de nouvelles technologies, de nouvelles pédagogies ou autrement. Si cet environnement est imparfait, il doit néanmoins dans les faits former les élèves qui y viennent, avec les moyens dont il dispose, dans le cadre social, économique, réglementaire et juridique qui est le sien. Qu'il y parvienne souvent avec difficulté devrait inciter à des recherches pour améliorer la situation à son profit. C'est cet environnement qu'il faut assister, si on ne veut pas à chaque automne le reconstruire. On y parviendra à la pièce, comme on rénove une vieille maison, en continuant d'habiter aussi celles qui n'ont pas encore été refaites et bien conscient du dérangement²⁴.

NOTES

1. Pour une révision complète et approfondie des derniers développements en la matière, voir le récent ouvrage de Bruillard (1997).
2. Le travail didactique de l'enseignant, par exemple, oblige à considérer la nature même du savoir enseigné pour identifier et surmonter d'importantes classes de difficultés d'apprentissage rencontrées par les élèves.
3. Nous nous référons ici au mode de formation par compagnonnage suivant lequel l'apprenant devient l'apprenti d'un maître ou compagnon sur le marché du travail.

4. Pour ce qui est des logiciels, les aspects théoriques y sont, le cas échéant, généralement exposés de manière statique sans liaison expresse avec la pratique. On décrit par exemple certains principes généraux de la mécanique des fluides, puis la manière de s'y prendre pour mesurer la pression et dans quelles unités; ou, encore, on présente différents types de pompes hydrauliques, leur principe de fonctionnement respectif et les conditions de leur utilisation. Ce type de logiciel peut être utile, mais il ne favorise pas chez l'élève l'établissement de liens significatifs entre la théorie et la pratique, pas plus qu'il ne l'habilité à établir des relations de cause à effet.
5. Dans le chapitre 7 du livre I de l'*Éthique à Nicomaque* (1990), Aristote explique que pour étudier une question, il ne sert à rien de tout considérer avec le même degré de précision, mais qu'il faut plutôt s'en tenir au degré requis dans le cadre d'investigation. Pour démontrer son propos, il utilise l'exemple suivant qui illustre parfaitement à quoi conduit une formation technique fonctionnelle au sens où nous l'entendons: «[...] un charpentier et un géomètre font bien porter leur recherche l'un et l'autre sur l'angle droit, mais c'est de façon différente: le premier veut seulement un angle qui lui serve pour son travail, tandis que le second cherche l'essence de l'angle droit ou ses propriétés, car le géomètre est un contemplateur de la vérité» (p. 61). De la même manière, les connaissances scientifiques du technicien ne seront pas celles du scientifique.
6. L'autre étant, bien sûr, la base de connaissances pédagogiques. Dans le cadre de notre analyse, l'expression «base de connaissances» renvoie partout où se situent les connaissances en cause dans l'environnement de formation, qu'elles soient formalisées ou non: manuels, enseignants, vidéos et autres, ainsi que la base de connaissances informatisée. Pour traiter des seules connaissances formalisées, nous utilisons l'expression «base de connaissances formalisées».
7. À moins d'y intégrer la quasi-totalité de la connaissance humaine, du moins la partie formalisable de la connaissance humaine. En apparence totalement irréaliste, cette possibilité devient presque plausible quand on considère un jumelage judicieux des bases de connaissances d'un tuteur informatisé avec l'autoroute électronique dont l'ampleur et la diversité ne sauraient que croître. Dans cet article cependant, nous ne poursuivons pas plus avant l'analyse de cette question.
8. Un enseignant en électronique formé initialement en anthropologie nous racontait à quel point les méthodes anthropologiques lui étaient utiles comme électronicien. De même, d'anciens typographes devenus infographes profitent énormément de leurs connaissances désuètes dans leur nouveau métier, mais ne peuvent en faire bénéficier les plus jeunes. Un exemple plus concret mais aussi plus spécialisé est celui de la «diode mécanique», cône métallique pointu servant à évacuer vers le sol les vibrations mécaniques d'un appareil; cette analogie n'aura de signification pour un mécanicien de machines fixes que s'il connaît l'original électronique. En plus des «trucs» personnels, il existe également des «trucs» partagés par la plupart des techniciens d'un même domaine. Ceux-là sont évidemment transmissibles et, la plupart du temps, explicables scientifiquement, mathématiquement ou empiriquement (bien que les techniciens ne soient pas forcément capables de les expliquer).
9. Dans le domaine de la haute fidélité par exemple, deux théories s'affrontent: l'une, résolument technique et objective, suivant laquelle la qualité se mesure; l'autre, plus holistique et subjective, suivant laquelle la qualité s'entend. Les méthodes de contrôle qui y correspondent sont par conséquent très différentes; les clientèles aussi!
10. Voir note ci-dessus.
11. Des dimensions subjectives et affectives sont en effet régulièrement sollicitées dans le domaine de la santé, par le biais notamment de l'empathie, pour qu'un climat de confiance s'installe entre le malade et le technicien ou pour que des gestes professionnels adaptés aux besoins du malade puissent être posés. Des données purement affectives doivent donc être prises en considération pour effectuer nombre de tâches mais ces données s'accordent mal avec une démarche qui serait trop strictement algorithmique. En revanche, le métier d'électronicien réclame une approche faite, pour l'essentiel, de raison, d'empirisme et d'intuition si possible, mais libre de sentiment, car les systèmes techniques sur lesquels il opère n'émettent ni reçoivent

vent aucun signal affectif. On aura compris que les dimensions affectives liées au travail en général, telles la valeur qu'on lui accorde ou la satisfaction de la clientèle, ne sont pas ici considérées.

12. «L'intégration de tuteurs artificiels dans les organisations de formation existantes semble loin d'être aisée. Il n'apparaît pas concevable, à l'heure actuelle, de confier la gestion totale d'un apprentissage quelconque à des machines. La complémentarité avec d'autres modes d'enseignement est donc à trouver» écrit Bruillard (1997, p. 212).
13. Comme on s'en rendra compte, on ne peut traiter du sujet des connaissances expertes sans évoquer au moins implicitement la forme de ces connaissances.
14. Comme nous le vérifions régulièrement dans nos propres cours destinés à des enseignants du secteur professionnel.
15. En particulier, les approches pédagogiques qui responsabilisent l'apprenant, situant celui-ci au centre de son apprentissage, comme le constructivisme, l'apprentissage expérientiel, l'apprentissage en contexte, etc.
16. Telles l'écologie et l'économie. On pourra sans doute s'étonner d'un tel questionnement pour une problématique en apparence simple. Mais il est de plus en plus présent chez les techniciens d'aujourd'hui concernés par le sujet, alors que quantité de modèles de thermostats, basés sur des principes variés et à des prix fort différents, sont proposés au consommateur, alors aussi que les préoccupations énergétiques sont dorénavant communes dans la société.
17. Rappelons, à cet égard, les efforts méritoires accomplis par une poignée de chercheurs québécois en didactique des disciplines techniques dans le cadre du Plan de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel (PPMEP), du Programme de recherche au profit des maîtres de l'enseignement professionnel (PRMEP) et du programme de recherche-développement pour les formateurs (RDF), principalement aux cours des années quatre-vingt, et dont l'équivalent n'existe malheureusement plus. La plupart de ces travaux sont recensés dans les actes de plusieurs colloques tenus au cours de cette période.
18. Cette vision de la science du technicien rejoint les préoccupations pragmatiques contemporaines (Searle, 1972) selon laquelle «la signification d'un mot est, d'abord et avant tout, déterminée par son usage, par l'ensemble des conséquences auxquelles il conduit» (Toupin, 1995, p. 22).
19. Cette unité est acquise, rappelons-le, par une abstraction de plus en plus grande du monde réel, des phénomènes particuliers dont est issue la science. Jusqu'à un certain point, par ce processus inductif, la science parvient à «oublier» ses origines et peut revendiquer un champ d'application de ses propres outils quasi illimité. Il serait impensable, et inutile, qu'un technicien en fasse autant. Pour lui, par conséquent, les connaissances scientifiques conservent une dimension contextualisée nettement plus importante.
20. Un expert chevronné ne sera jamais plus un novice; sa connaissance de novice n'existe plus comme telle, et cela, bien que l'état actuel de ses connaissances soit construit sur l'ancien et, par conséquent, l'intègre. Inversement, on mesure ici, en quelque sorte, l'effet sur l'état futur de la connaissance d'un individu de l'état actuel de celle-ci: si l'on projette qu'un novice devienne, avec le temps, un expert favorisant une certaine façon de penser et d'agir, il faut former ce novice en fonction de ce type d'expertise. Ceci invalide presque *de facto*, pour des fins de formation à des niveaux moins avancés, les tentatives de formaliser la connaissance d'un expert chevronné pour en constituer ensuite la base de connaissances du domaine d'un environnement de formation. Celui-ci ne doit chercher à reproduire ni le savoir ni le comportement d'un expert. Par conséquent, l'environnement ne doit pas contenir la connaissance formalisée de l'expert chevronné mais plutôt celle qui permet de le devenir. Tout comme, de plus en plus, les programmes de formation professionnelle dérivent des compétences à acquérir mais ne les constituent pas, les compétences étant plutôt considérées comme des objectifs à atteindre. L'efficacité pédagogique d'un environnement de formation nous semble liée à cette même condition.

21. Selon Delgrande et Mylopoulos (1986), non seulement l'hypothèse d'un monde clos (où la connaissance serait complète) ne peut-elle être justifiée, mais encore il n'existe pas d'ensemble unique et complet des caractéristiques mêmes de la connaissance.
22. Et même, en fait, par l'apprenant lui-même qui ne peut prendre conscience, dans une situation d'apprentissage donnée, de l'ensemble de ses connaissances.
23. Une des seules études approfondies que nous connaissions sur le sujet est l'œuvre de Michael Smithson, *Ignorance and Uncertainty* (1988).
24. Nous remercions le Bureau des technologies d'apprentissage du ministère du Développement des ressources humaines du Canada pour son soutien financier.

Abstract – In this paper, computer assisted training environments are examined as a partial response to the problem of contemporary technical training. With this objective, the author calls for the development of students' functional knowledge and provides a definition of this concept. The nature of expertise is analysed in terms of subject, degree of formalization and generality, and origin. The author proposes an organization of technical knowledge into techno-scientific conceptual structures as a basis for training students. In response to the difficulties presented by the incomplete or partial knowledge which students have of this field, the author outlines the importance of incorporating within the training environment those strategies which can "manage ignorance". Two proposals in response to this include the control of learner's knowledge and of learning processes during a learning task.

Resumen –En este artículo, los entornos de formación asistidos por computador son considerados como una respuesta parcial a la problemática contemporánea de la formación profesional técnica. El autor preconiza y define la significación del desarrollo de un conocimiento funcional por parte del alumno técnico. El artículo estudia la naturaleza del conocimiento, distinguiendo el sujeto sobre el cual trata, su grado de formalización y de generalización así como los orígenes diversificados del mismo. Por la formación, se propone una organización de los conocimientos del sector en redes conceptuales técnico-científicas. Se justifica también la necesidad de incorporar al medio de formación estrategias de «gestión de la ignorancia» en razón del conocimiento fragmentario que los alumnos poseen del verdadero saber. A tales efectos, se examinan el control de los conocimientos movilizados en el acto de aprender y el control de los procesos de aprendizaje.

Zusammenfassung – In diesem Artikel wird die computergestützte Wissensvermittlung als Teilantwort auf die gegenwärtige Problematik der technischen Ausbildung verstanden. Die Aneignung eines funktionellen Wissens durch den Technikstudenten wird empfohlen und als signifikant herausgestellt. Die Art und Weise des wissenschaftlichen Vorgehens wird erörtert, indem deutlich unterschieden wird zwischen dem Untersuchungsobjekt, dem Grad der Formalisierung bzw. Generalisierung und den verschiedenen Ursprüngen. Um Lerner auszubilden, wird eine Gruppierung der Fachkenntnisse in technisch-wissenschaftliche konzeptuelle Organigramme vorgeschlagen. Die Notwendigkeit, in das Lernenvironment Strategien der "Ignoranzverwaltung" einzubauen, wird dadurch gerechtfertigt, dass der tatsächliche Wissensstand der Lerner als fragmentarisch angesehen wird. In diesem Zusammenhang wird auch die Kontrolle der im Lernvorgang mobilisierten Kenntnisse sowie die Kontrolle der Lernprozesse erörtert.

RÉFÉRENCES

- ACCT (Agence de coopération culturelle et technique) (1990). *Intégration de la micro-informatique à la formation technique et professionnelle* (Tomes 1 et 2). Bordeaux: École internationale de Bordeaux (Notes et documents, série « Synthèse de sessions », n° 14).
- Adamounou, L., Landry, C. et Dionne, M. (1995). Hiérarchie des difficultés d'apprentissage de notions technicoscientifiques en alimentation humaine. In A. Giordan, Y. Girault et P. Clément (dir.), *Conceptions et connaissances* (p. 227-236). Berne: Peter Lang.
- Amoan, V. (1995). *Apprentissage de la chaleur en cuisine professionnelle: expérimentation et analyse d'une approche didactique*. Mémoire de maîtrise inédit. Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, Sainte-Foy.
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skills. *Psychological Review*, 89(4), 369-406.
- Aristote (1990). *Éthique à Nicomaque* (Traduction de J. Tricot). Paris: Vrin.
- Barbier, J.-M. (dir.) (1998). *Savoirs théoriques et savoirs d'action*. Paris: Presses universitaires de France.
- Baron, M., Mendelsohn, P. et Nicaud, J.-F. (dir.) (1997). *ELAO 1997*. Paris: Hermès.
- Bouchon-Meunier, B. (1993). *La logique floue*. Paris: Presses universitaires de France.
- Bruillard, É. (1997). *Les machines à enseigner*. Paris: Hermès.
- Busby, J. et Graham, R. J. (1994). Reconstructing the vocational-liberal studies controversy. *McGill Journal of Education*, 29(3), 295-307.
- Chan, T.-K. (1996). Learning companion systems, social learning systems, and the global social learning club. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 7(2), 125-159.
- Checkland, P. (1981). *Systems thinking, systems practice*. New York, NY: John Wiley.
- Claparède, É. (1950). *L'éducation fonctionnelle* (3^e éd.). Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Cochennec, Y. (1991). *Prémisses scientifiques du cours d'initiation à la technologie*. Mémoire de maîtrise inédit. Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, Sainte-Foy.
- Delgrande, J. P. et Mylopoulos, J. (1986). Knowledge representation: Features of knowledge. In W. Bibel et Ph. Jorrand (dir.), *Fundamentals of artificial intelligence: An advanced course* (p. 3-36). Berlin/New York, NY: Springer Verlag.
- Ertayebi, M. et Gagnon, R. (1993). Mise à jour des représentations d'élèves à partir d'une épreuve classique de rendement. In *Actualité de la recherche en éducation et formation. Résumés des communications* (p. 61-62). Paris: Conservatoire national des arts et métiers.
- Frasson, C., Gauthier, G. et Lesgold, G. A. (dir.) (1996). *Third international conference on intelligent tutoring systems. Lecture notes in computer science, n° 1086*. Berlin/New York, NY: Springer Verlag.
- Gagnon R. (1996). *Considérations sur les déterminants d'une didactique de disciplines techniques*. Sainte-Foy: Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval.
- Gagnon, R., Besançon, J., Jean, P., Gagné, R. et Leclerc, L.-P. (1989). Analyse d'un programme d'électromécanique en ses concepts et principes physiques: méthode et application. *International Review of Education*, 35(3), 305-327.
- Gagnon, R. et Ertayebi, M. (à paraître). Mise à jour effective de structures cognitives d'élèves par le biais d'une méthode applicable en classe. *Revue de l'Université de Moncton*.
- Gagnon, R. et Lacerda, G. (1998). *EScale: environnement de formation professionnelle technique assistée par ordinateur*. Sainte-Foy: Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval.
- Gagnon, R. et Leclerc, L.-P. (1994). *ESCoumins (logiciel)*. Sainte-Foy: Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval.
- Lacerda, G. (1995). *Développement d'un savoir fonctionnel à l'aide d'un environnement de formation technique assistée par ordinateur intégrant une approche pédagogique adaptée*. Thèse de doctorat inédite. Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, Sainte-Foy.

- Lapointe, J.-J. (1992). *La conduite d'une étude de besoins en éducation et en formation: une approche systémique*. Sillery: Presses de l'Université du Québec.
- Lave, J. et Wenger, É. (1993). *Situated learning*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Leplat, J. (1995). À propos des compétences incorporées. *Éducation permanente*, 123, 101-114.
- Lord, J.-L. (1993). *Degré de maîtrise des concepts scientifiques jugés essentiels pour l'apprentissage fonctionnel du système de refroidissement du moteur d'automobile*. Mémoire de maîtrise inédit. Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, Sainte-Foy.
- Luc, F. (1994). L'utilisation des concepts et des procédures dans l'enseignement technique. *Recherche en éducation: théorie et pratique*, 17, 77-87.
- Michalski, R. S., Bratko, I. et Kubat, M. (1998). *Machine learning and data mining: Methods and applications*. Chichester, Angleterre: John Wiley and Sons.
- Rabardel, P. et Six, B. (1995). Outiller les acteurs de la formation pour le développement des compétences au travail. *Éducation permanente*, 123, 33-46.
- Samurçay, R. et Pastré, P. (1995). La conceptualisation des situations de travail dans la formation des compétences. *Éducation permanente*, 123, 13-31.
- Searle, J.-R. (1972). *Les actes de langage: essai de philosophie du langage*. Paris: Hermann.
- Schön, D. A. (1987). *Educating the reflexive practitioner*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Simon, H. A. (1997). *Administrative behavior* (4^e éd.). New York, NY: The Free Press.
- Simon, H. A. (1996). *The sciences of the artificial* (3^e éd.). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Smithson, M. (1988). *Ignorance and uncertainty: Emerging paradigms*. New York, NY: Springer Verlag.
- Tanguy, L. (1991). *L'enseignement professionnel en France. Des ouvriers aux techniciens*. Paris: Presses universitaires de France.
- Tardif, M., Lessard, C. et Gauthier, C. (1998). *Formation des maîtres et contextes sociaux*. Paris: Presses universitaires de France.
- Toupin, L. (1995). *De la formation au métier: savoir transformer ses connaissances dans l'action*. Paris: ESF.
- Tremblay, D. G. (1993). Évolution économique, innovation et besoins de formation. In P. Dandurand (dir.), *Enjeux actuels de la formation professionnelle* (p. 147-176). Québec: Institut québécois de la recherche sur la culture.
- Vaillancourt, M. et Gagnon, R. (1997). Projet ESCient®. Mise à jour des conceptions relatives à l'énergie en milieu sociosanitaire. Élaboration des questionnaires. In R. Gagnon, Y. Comeau, L.-P. Leclerc, A. Paccioni et M. Vaillancourt (dir.), *Développement d'un dispositif de formation et de sensibilisation en efficacité énergétique. Projet ESCient®. Rapport d'étape 1996-1997 présenté à la Régie régionale de la Santé et des Services sociaux du Québec et au ministère des Ressources naturelles du Québec*. Sainte-Foy: Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval.
- Winograd, T. et Flores, F. (1986). *Understanding computers and cognition: A new foundation for design*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Wood, D. (1989). Technician training: A New Zealand perspective. In *Conference Papers of the International Conference on Recent Research and Development in Vocational Education* (p. 4-22). Adelaide, Australie.